АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ИНФОРМАЦИЯ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТАХ

Лауреат Сталинской премии канд. хим. наук Л. М. РОЗЕНФЕЛЬД
и инж. Н. И. ЛЕВИН

БЕЗАВТОКЛАВНЫЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЗОЛОПЕНОБЕТОН

МОСКВА 1956

В строительстве широко применяются конструктивные теплоизоляционные ячеистые материалы, которые, имея низкую теплопроводность, обладают достаточно высокой механической прочностью. К таким материалам относятся: автоклавные пенобетон, пеносиликат, пеношлак и газобетон.

Все эти материалы изготовляются на специальных заводах, оборудованных автоклавами. Недостаток автоклавов и значительные затраты, необходимые для строительства таких заводов, препятствуют увеличению объема производства конструктивных теплоизоляционных материалов.

В связи с этим большой интерес представляет безавтоклавный конструктивный золопенобетон, технология изготовления которого разработана Л. М. Розенфельдом в Центральном научно-исследовательском институте промышленных сооружений (ЦНИПС).

При изготовлении безавтоклавного пенобетона расходуется большое количество цемента.

Пенобетон имеет малую прочность и транспортабельность, обладает значительными усадочными явлениями, требует длительного выдерживания на складе (28 дней) до применения его в дело.

Для повышения механической прочности безавтоклавного пенобетона Н. Т. Кудряшевым и М. Я. Кривицким предложено в пропарочной камере создавать вакуум до пуска в нее пара. Авторы считали, что создание предварительного разрежения способствует более глубокому проникновению пара в толщу изделия, в результате чего создаются благоприятные условия для развития физико-механических процессов, происходящих при твердении бетона.

Однако на прочность пенобетена вакуумирование влияет мало.

В результате дальнейших исследований, проведенных в ЦНИПС, было установлено, что безавтоклавный конструктивный ячеистый бетон можно получить путем увеличения тонкости помола цемента либо путем добавки в смесь химических ускорителей твердения цемента. В том и другом случае повышается активность цемента и обеспечивается быстрое схватывание и твердение пеномассы состава 1 : 2 (цемент [illegible]

Последующие исследования показали, что безавтоклавный золопенобетон, полученный таким способом, является эффективным строительным материалом, отвечающим современным требованиям строительства.

Как видно из табл. 1, прочность безавтоклавного золопенобетона состава 1 : 2 без какой-либо термической обработки через 7 суток достигает примерно 20 *кг/см*² (при влажности до 40%), а через 28 суток — 50 *кг/см*² (при той же влажности).

Таблица 1

Наименование материала	Расчетный объемный вес, *кг/м*³	Предел прочности при сжатии, *кг/см*², через		
		7 суток	14 суток	28 суток
Невысушенный золопенобетон	1000	18–20	30	50
Золопенобетон, высушенный до постоянного веса при 105°	1000	30	50	[illegible]
Невысушенный автоклавный золопенобетон	1000	72	(после автоклава)	
Высушенный автоклавный золопенобетон	1000	105	—	105

Золопенобетон в высушенном состоянии по своим прочностным показателям мало чем отличается от высушенного автоклавного золопенобетона того же состава.

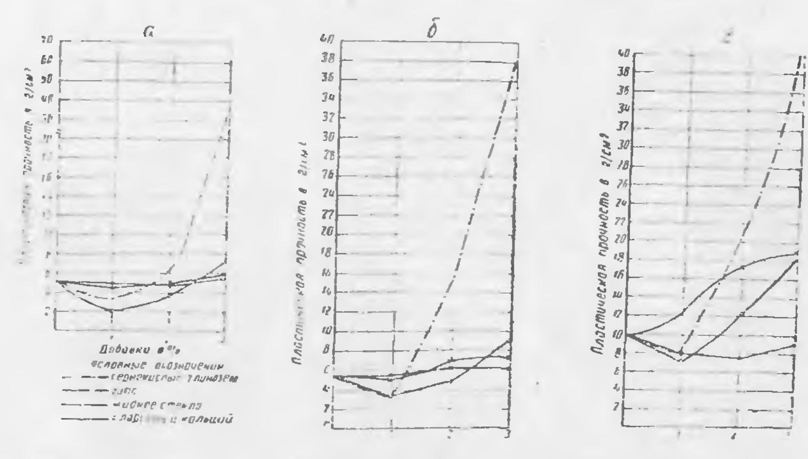
Применение химических добавок при изготовлении безавтоклавного золопенобетона

Для ускорения процесса схватывания и первоначального твердения бетона в бетонную смесь вводятся химические добавки: жидкое стекло, хлористый кальций, гипс.

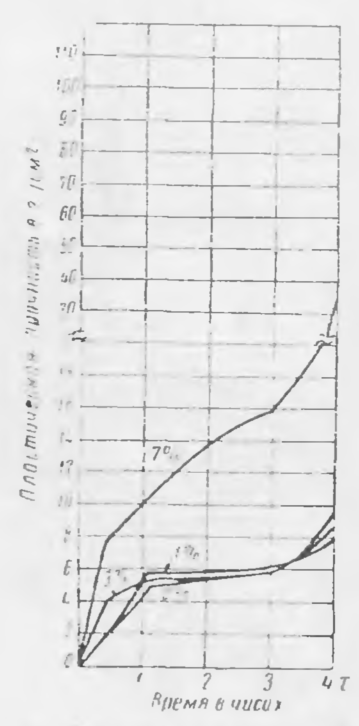
Влияние этих добавок на процесс схватывания и твердения золопенобетона, а также предложенного автором для ускорения схватывания сернокислого глинозема изучалось на приборе Розенфельда. Процесс схватывания характеризовался нарастанием в течение первых 4 часов так называемой пластической прочности пеномассы, оцениваемой в граммах на квадратный сантиметр по величине нагрузки, необходимой для сдвига пластинки, погруженной в исследуемую массу. Процесс твердения характеризовался нарастанием прочности при сжатии кубов размером 10 × 10 × 10 *см* при объемном весе 1000 *кг/м*³.

Из фиг. 1 видно, что добавки хлористого кальция, жидкого стекла и гипса в количестве до 3% по отношению к цементу в течение первых 2 часов не дают какого-либо эффекта, и только через 4 часа наблюдается значительное повышение пластической прочности (с 10 до 17 *г/см*²) для хлористого кальция и жидкого стекла. Эффекта от добавки гипса не наблюдается.

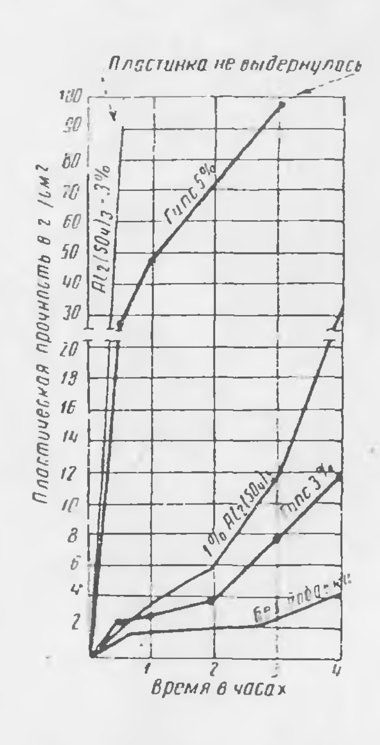
Совершенно иные результаты дает добавка сернокислого глинозема. Так, при добавке 3% сернокислого глинозема пластическая прочность через 1 час резко увеличивается с 5 до 40 *г/см*².



Фиг. 1. Зависимость пластической прочности пеномассы на портландцементе от химических добавок:
а — через 1 час после введения добавок; *б* — через 2 часа; *в* — через 3 часа



Фиг. 2. Зависимость пластической прочности пеномассы на портландцементе от добавки гипса



Фиг. 3. Зависимость пластической прочности пеномассы на шлакопортландцементе от химических добавок

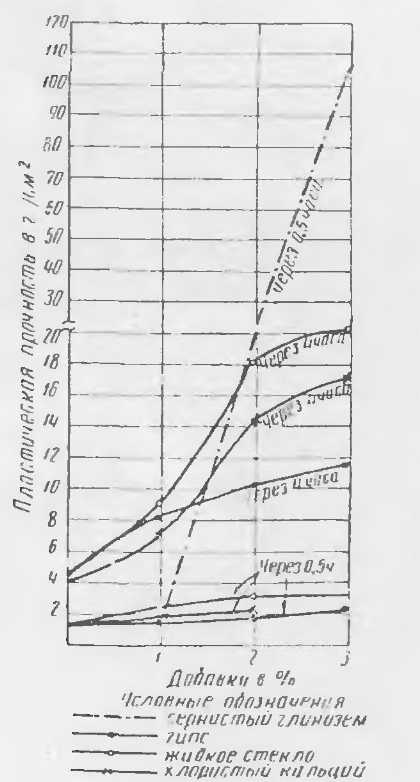
Через 2 часа и в последующий период пластическая прочность на столько увеличивалась, что пластинку нельзя было вытащить из пеномассы.

Добавка 1% сернокислого глинозема независимо от времени выдержки снижает пластическую прочность пеномассы. В данном случае сернокислый глинозем играет роль пластификатора.

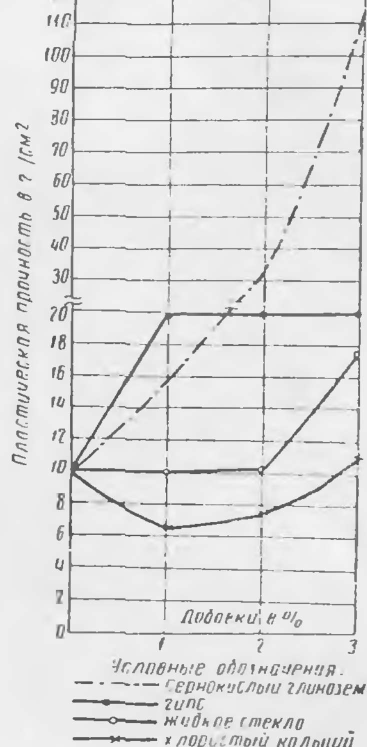
Значительно ускоряет процесс схватывания и твердения добавка гипса к пеномассе состава 1 : 2 (цемент : зола) в количестве до 7% к весу цемента. Так, из фиг. 2 видно, что при увеличении количества гипса пластическая прочность возросла через 1 час с 5 до 10 $г/см^2$, через 2 часа — с 5 до 14 $г/см^2$, а через 4 часа — с 10 до 33 $г/см^2$.

Предел прочности при сжатии образцов размером $10 \times 10 \times 10$ *см*, приготовленных из той же пеномассы с добавкой 7% гипса или 3% сернокислого глинозема, через 24 часа составлял 6 $кг/см^2$, в то время как такие же образцы, но без добавки, имели незначительную прочность.

Полученные данные полностью подтверждают указания академика П. А. Ребиндера о влиянии гидрофильных поверхностно активных добавок и гипса на процессы схватывания и твердения цемента.



Фиг. 4. Зависимость пластической прочности пеномассы на шлакопортландцементе во времени от химических добавок



Фиг. 5. Зависимость пластической прочности пеномассы на пластифицированном цементе от химических добавок через 4 часа

Гораздо больший эффект, наблюдаемый при добавке сернокислого глинозема по сравнению с полуводным гипсом, можно объяснить тем, что в присутствии воды сернокислый глинозем выделяет серную кислоту, которая немедленно реагирует с известью, выделяющейся при гидратации цемента, с образованием гипса. Образовавшийся гипс, являясь весьма активным, в момент выделения очень быстро образует сульфоалюминат, усиливая тем самым химическую пептизацию цемента. Освободившийся от извести раствор дает возможность дальнейшим порциям цемента беспрепятственно гидратироваться.

Известно, что автоклавный и безавтоклавный пенобетон готовят только на портландцементе, так как сроки схватывания других цементов слишком велики, и пена не в состоянии сохранить структуру пеномассы до образования полутвердого геля.

Из фиг. 3, 4, 5 видно, что с применением сернокислого глинозема, а также гипса в количестве 6—7% от веса цемента для приготовления золопенобетона может быть использован как пластифицированный цемент, так и шлакопортландцемент.

Испытания пенобетонных плит, изготовленных на разных цементах, подтвердили большую эффективность добавки сернокислого глинозема.

Необходимо отметить, что добавки сернокислого глинозема дают возможность получить пеномассу высотой до одного метра и выше без ее осадки. Такая устойчивость пеномассы позволяет изготовлять перегородочные панели из ячеистого бетона кассетным способом.

Применение кремнеземистого наполнителя при изготовлении безавтоклавного золопенобетона

В системе $CaO + SiO_2 + H_2O$ процесс взаимодействия между SiO_2 и $Ca(OH)_2$ зависит от того, в каких температурно-влажностных условиях находится эта система.

Так, по данным С. А. Миронова, содержание свободной извести в образцах, состоящих из 75% цемента и 25% молотого песка через 20 суток не изменяется, и только через 3 месяца около 60% извести оказываются связанными.

Такие же данные были получены Ю. М. Буттом. В условиях аморфной кремнекислоты реакция частично происходит при температуре 80 ± 5° в течение 16 часов. Как показали опыты, добавка в систему $CaO + SiO_2 + H_2O$ сернокислого глинозема в количестве 3% от веса цемента изменяет скорость взаимодействия $SiO_2 + Ca(OH)_2$, и в течение первых 14 суток количество свободной $Ca(OH)_2$ уменьшается на 30%.

Особенно интенсивно протекает реакция между $Ca(OH)_2$ и SiO_2, находящихся в золе ТЭЦ в присутствии сернокислого глинозема. После 14 суток нормального хранения образцов, состоящих из 30% цемента и 70% золы, количество свободной извести доходит до 0,7%. Эти данные еще раз подтверждают, что в присутствии сернокислого глинозема без какой-либо термовлажностной обработки идет частичная реакция между

$Ca(OH)_2$ и SiO_2 песка и очень активно между $Ca(OH)_2$ и SiO_2 золы ТЭЦ. Это дает возможность с успехом заменить в производстве безавтоклавного ячеистого бетона молотый песок золой, получаемой при сжигании топлива в тепловых электростанциях.

Таблица 2

Наименование электростанций	Влага	п.п.п	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
Сталинская	0,82	3,15	47,91	30,19	11,85	3,50	0,60	2,5
Каширская	0,14	—	50,6	30,70	16,7	2,25	0,78	0,34
Щекинская	0,94	4,16	41,92	35,20	13,06	5,20	0,72	1,37
Сугрэсовская	0,75	6,40	41,6	25,85	14,40	6,91	3,05	1,47
Березовская		3,04	45,11	37,07	6,51	6,02	3,93	0,05

Зола ТЭЦ не требует предварительного помола ввиду ее дисперсности в естественном виде. Этот вид кремнеземистого наполнителя представляет большой интерес, так как запасы его огромны. Подавляющее большинство электростанций работает на пылевидном топливе. Количество золы при сжигании 1000 т такого топлива составляет 170 т. Использование в качестве кремнеземистого заполнителя для ячеистого бетона золы одной только электростанции может обеспечить работу мощного завода, выпускающего крупноразмерные элементы здания.

Таблица 3

Состав по весу: цемента	Состав по весу: золы	Электростанция, поставляющая золу	Расчетный объемный вес, $кг/м^3$	В: Ц+З	Предел прочности при сжатии, $кг/см^2$, через: 2 суток	4 суток	6 суток	10 суток	14 суток	10 суток в высушенном состоянии
1	1,8	Сталинская	1000	0,57	14,7	16,3	—	26,1	29,0	37,1
				0,59	16,7	17,8		27,3	31,0	42,0
				0,61	15,2	16,4	—	26,8	30,8	41,3
1	1,8	Каширская	1000	0,42	10,8	—	18,0	28,4	32,8	41,4
				0,44	12,3	—	19,2	31,6	35,4	43,5
				0,46	11,8	—	16,5	30,0	34,6	44,7
1	1,8	Щекинская	1000	0,57	34,7	43,0	54,9	56,4	90,8	72,5
				0,59	33,2	40,2	52,8	53,0	89,2	70,3
				0,61	34,1	40,0	53,2	53,2	91,1	—
1	1,8	Бариаульская	1000	0,46	8,7	13,3	16,8	26,5	35,8	—
				0,48	10,0	15,2	18,4	27,2	37,0	40
				0,50	10,7	15,8	16,1	25,0	37,2	38,4
1	1,8	Березовская Уральская (ст. Клинки)	1000	0,56	10,5	13,7	21,0	36,5	—	50,3
				0,58	11,3	14,0	23,2	41,2	—	51,2
				0,60	11,9	12,9	20,6	39,0	—	18,8

Примечание. В пенозолобетон вводится сернокислый глинозем в количестве 3% от веса цемента.

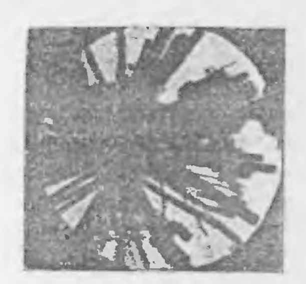
Для выяснения возможности использования зол в производстве безавтоклавного конструктивного ячеистого бетона были испытаны золы следующих электростанций: Сталинской (Москва), Каширской, Щекинской, Березовской (Урал) и Сугрэсовской (Урал).

В табл. 2 приводится химический состав зол этих станций в процентах.

Полученные на основе этих зол образцы золопенобетона состава 1 : 2 (цемент : зола) с объемным весом 1000 $кг/м^3$ полностью подтвердили возможность использования зол любой электростанции. Во всех случаях, как видно из табл. 3, на 10-е сутки прочность золопенобетона в высушенном состоянии была достаточной для изготовления стеновых блоков.

Как видно из табл. 3, предел прочности на сжатие золопенобетона на золе щекинской ТЭЦ оказался почти вдвое больше, чем у пенобетонов на других золах.

На фиг. 6 показан снимок силуэта новообразования, наблюдавшегося в электронном микроскопе. На этом снимке изображено лучистое новообразование, получаемое при смешении цемента с золой в присутствии сернокислого глинозема. Эти кристаллы можно идентифицировать с кристаллами сульфоалюмината кальция.



Фиг. 6. Лучистое новообразование, получаемое при смешении цемента с золой в присутствии сернокислого глинозема

Технологические факторы, влияющие на свойства безавтоклавного золопенобетона

Основным показателем при подборе состава быстротвердеющего золопенобетона являлся предел его прочности при сжатии при объемном весе 1000—1200 $кг/м^3$.

Испытанием установлено, что образцы золопенобетона при одном и том же объемном весе, но разного состава, мало чем отличаются по своим прочностным показателям после 28-дневного хранения во влажностных условиях. Нарастание прочности происходит достаточно равномерно и не зависит от изменения количества цемента в пределах от 300 до 340 *кг* на 1 $м^3$ изделия. После сушки образцов, находившихся предварительно в условиях влажного хранения в течение 28 суток, до постоянного веса при температуре 105° прочность их значительно повышается.

Высокая прочность золопенобетона и его другие свойства дают основание рекомендовать этот материал для изготовления стеновых блоков.

Необходимо отметить, что зола гидрозолоудаления часто содержит большое количество влаги (до 60%). При производстве золопенобетона такая зола должна быть предварительно высушена (количество влаги не должно превышать 30%).

Как указывалось выше, добавка 3% сернокислого глинозема (от веса цемента) сильно ускоряет процесс схватывания пеномассы. Введение 5—7% сернокислого глинозема нецелесообразно, так как в этом случае

скорость схватывания увеличивается настолько, что затрудняет работу пенобетономешалки.

Данные предела прочности образцов при сжатии в зависимости от количества введенного сернокислого глинозема приведены в табл. 4.

Таблица 4

Состав: цемента	Состав: золы	Сернокислый глинозем, % от веса цемента	$\frac{В}{Ц+З}$	Объемн. вес, кг/м³	Предел прочности при сжатии образцов, кг/см², через 3 суток	7 суток	14 суток	21 суток	28 суток	Прочность образцов в сухом состоянии через 28 суток, кг/см²
1	1,8	3	0,46	1000	10,9	15,0	—	32,6	41,3	82,6
1	1,8	5	0,58	1000	12	21,0	35,6	43,0	54,0	95,0
1	1,8	7	0,58	1000	15,3	21,7	46,7	52,3	59,0	98,7

Длительность выдержки отформованных изделий до распалубки является важным технологическим фактором при производстве безавтоклавного золопенобетона.

На фиг. 7 показано нарастание во времени прочности образцов, находившихся все время во влажных условиях (под влажными опилками), а также после сушки при температуре 105° до постоянного веса.

На этой же фигуре показан предел прочности при сжатии автоклавного золопенобетона как в сыром состоянии (~ 15% влаги), так и после сушки его до постоянного веса.

Установлено, что через 48 часов естественного твердения при температуре ~ 15—20° распалубленный золопенобетонный блок длиной 3 *м* и толщиной 40 *см* можно поднять при помощи крана. При пропаривании блока в пропарочной камере через 16 часов прочность золопенобетона составит 60 *кг/см²* при объемном весе 1000 *кг/м³*.

Испытания образцов из безавтоклавного золопенобетона

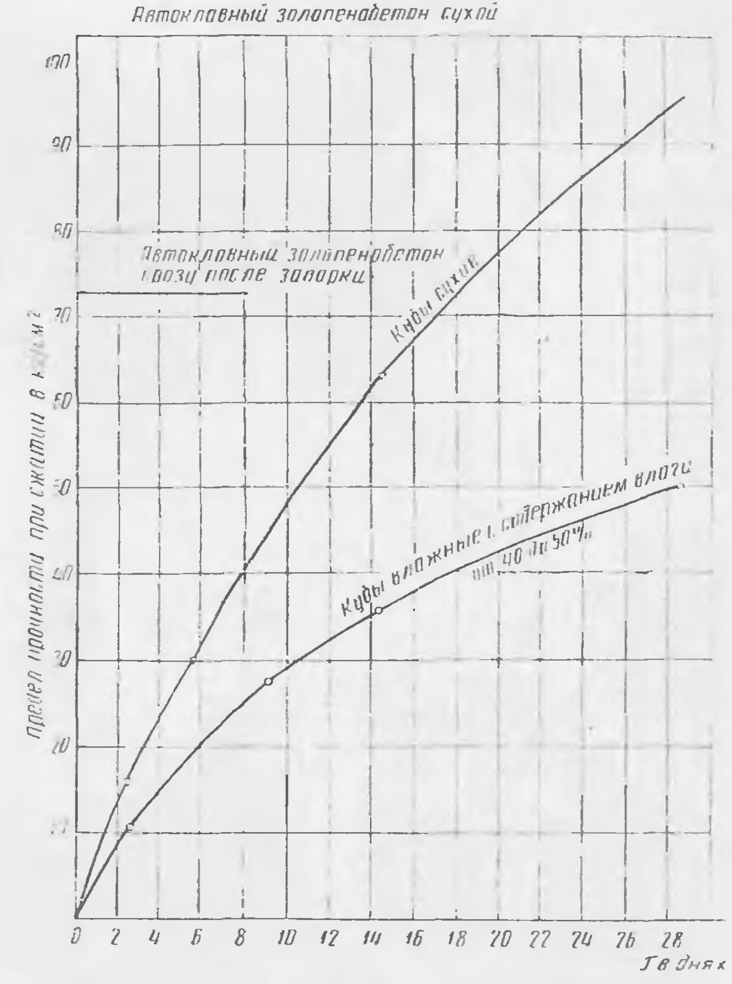
Для определения объемного веса и марки золопенобетона были испытаны кубы размером 10 × 10 × 10 *см*, изготовленные одновременно с блоком, призмами и другими образцами.

Объемный вес отдельных групп образцов составлял 1100—1200 *кг/м³*, а кубиковая прочность — 49,0—135,0 *кг/см²*.

При испытаниях было установлено, что первые трещины появились при нагрузках, равных 0,85—0,99 от разрушающих нагрузок. Разрушение образцов, как правило, происходит от среза по наклонной плоскости, как у образцов из автоклавного пенобетона; появление первых трещин у золопенобетона при подаче нагрузки обычно ведет к разрушению образца. Разрушение призм начинается не с имеющихся на их поверхности усадочных трещин, а с появлением новых трещин от нагрузок.

Испытание офактуренного золопенобетонного блока показало, что первые трещины появились в золопенобетоне, затем, по мере разрушения блока, произошло отслоение фактуры и полное разрушение блока.

Сравнение отдельных групп образцов производилось по их относительным прочностям $\frac{R_{пр}}{R_{куб}}$, где $R_{пр}$ — предел прочности образца, а



Фиг. 7. Зависимость предела прочности при сжатии образцов из безавтоклавного золопенобетона

$R_{куб}$ — предел прочности куба 10 × 10 × 10 *см* в воздушно-сухом состоянии, испытанного одновременно с образцом. Сравнение результатов испытаний показало, что относительная прочность образцов составляет в среднем $\frac{R_{пр}}{R_{куб}} = 0{,}74$ (для автоклавных ячеистых бетонов $\frac{R_{пр}}{R_{куб}} = 0{,}73$).

Образцы из безавтоклавного золопенобетона размером 10 × 10 × 30 *см* испытывались также на изгиб, срез и растяжение. В результате этих испытаний установлено, что $R_{срез} = 0{,}18\ R_{куб}$; $R_{раст} = 0{,}13\ R_{куб}$ и $R_{изг} = 0{,}12 R_{куб}$, т. е. предел прочности при срезе и растяжении близок к пределу прочности автоклавных ячеистых бетонов, а предел прочности при изгибе вследствие усадочных трещин ниже, чем у автоклавных ячеистых бетонов.

Деформации и упругие свойства блоков из безавтоклавного быстротвердеющего золопенобетона

В соответствии с методикой, принятой при испытании опытных образцов, производился замер полных (упругих и пластических) деформаций после 2—3-минутной выдержки.

Золопенобетон, как и бетон, является упругопластическим материалом, особенность которого заключается в том, что деформации нарастают быстрей, чем напряжения.

Относительные деформации, вычисленные по формуле

$$\varepsilon = -\frac{R'}{E_0}\, ln \left(1 - \frac{\sigma}{R'}\right),$$

и модули упругости, вычисленные по формуле

$$E = E_0 \left(1 - \frac{\sigma}{R'}\right),$$

близко совпадают с опытными результатами,

где ε — относительная деформация блока (кладки);

E — модуль общих деформаций, выражающийся тангенсом угла наклона касательной к кривой деформаций;

E_0 — начальный модуль упругости (при напряжении $\sigma = 0$);

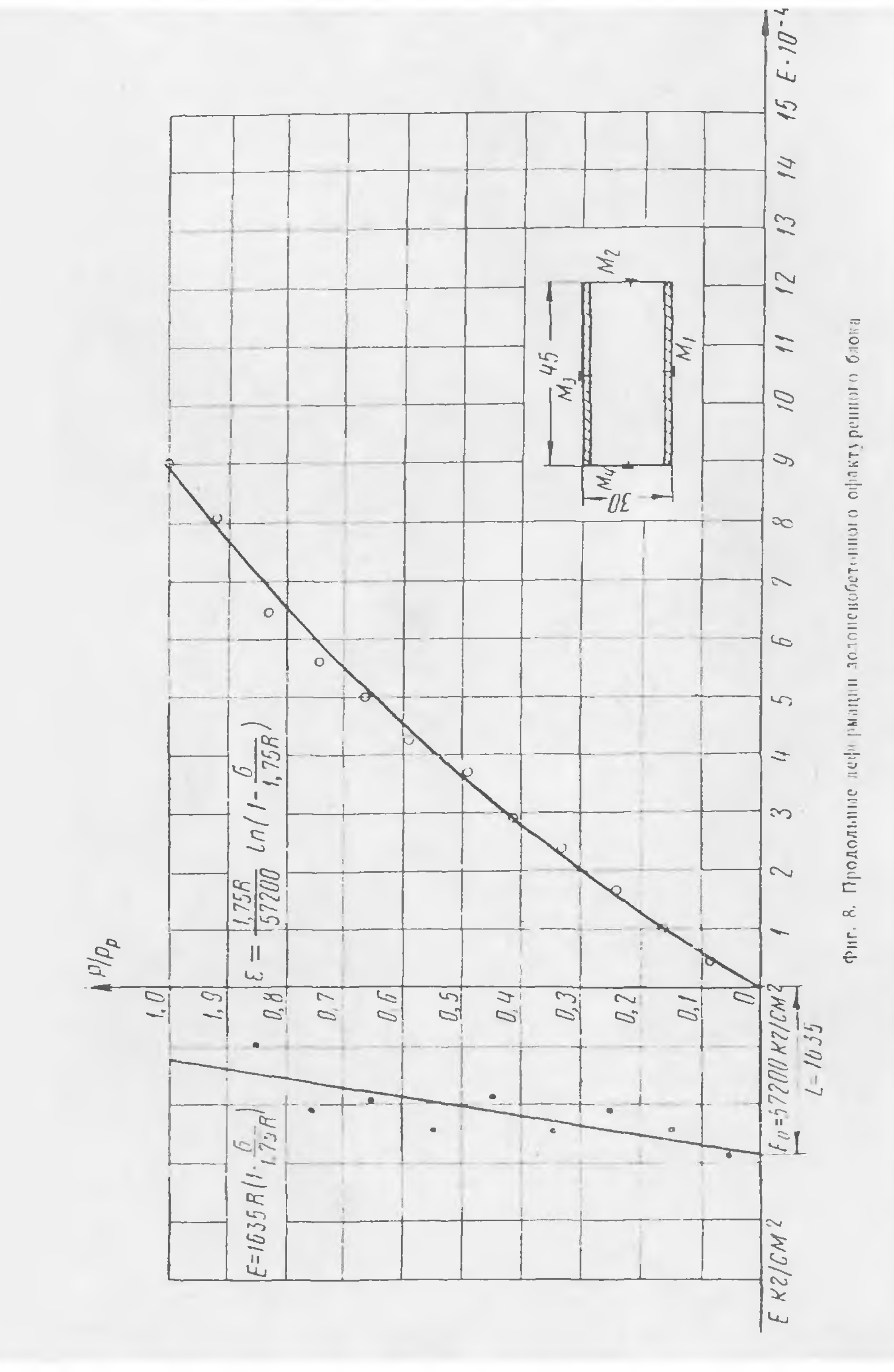
σ — напряжение, соответствующее определяемой деформации;

R' — условная величина напряжения, при которой модуль упругости равен нулю.

Величина R' для каменной кладки и бетона вычислена по формуле проф. Л. И. Онищика и принята равной $1{,}1R$; при этом напряжении модуль общих деформаций равен нулю, а деформации растут бесконечно.

При малых напряжениях, близких к нулю, $E_0 = \alpha\, R$, где α — упругая характеристика кладки (бетона), зависящая от вида кладки, состава и марки раствора или бетона, полностью определяет упругие свойства кладки (блоков).

Анализ опытных данных для блоков из ячеистых бетонов и кладки из них показал, что принятое в формулах проф. Л. И. Онищика для обычного бетона значение $R' = 1{,}1\ R$ не подтверждается.

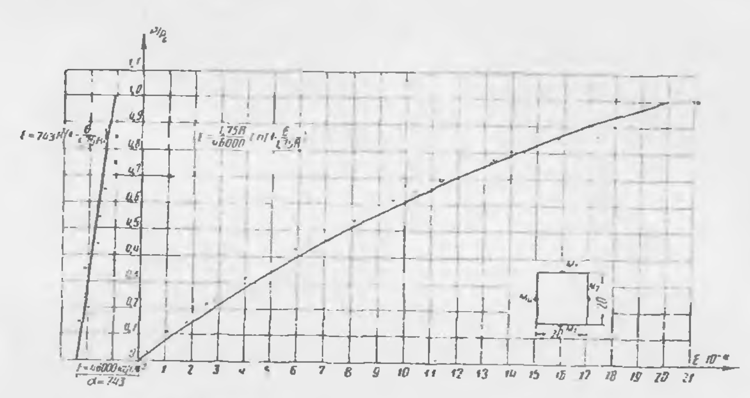


Фиг. 8. Продольные деформации золопенобетонного офактуренного блока

Разрушение блоков из ячеистых бетонов ввиду их хрупкости наступало раньше, чем материал достигал текучести. Это подтверждается также характером разрушения блоков из ячеистого материала как автоклавного, так и безавтоклавного твердения.

Испытания показали, что для ячеистых бетонов R' нужно принимать равным не $1{,}1R$, а $1{,}75R$.

На графиках, фиг. 8 и 9, показаны деформации золопенобетонных призм и блоков при различных ступенях нагрузки, там же нанесена кривая зависимости деформаций от напряжений, подсчитанная по формуле.



Фиг. 9. Продольные деформации золопенобетонных призм

Из графиков видно, что опытные точки общих относительных деформаций близко совпадают с кривыми, нанесенными по формуле проф. Л. И. Онищика при $R' = 1{,}75\,R$.

В левой части графиков нанесены опытные точки значений модуля общих деформаций и полученная по формуле Л. И. Онищика зависимость между напряжениями и модулями

$$E = E_0\left(1 - \frac{\sigma}{1{,}75\ R}\right).$$

Характеристика испытанных образцов приведена в табл. 6.

Таблица 6

Тип образцов	Средний предел прочности $R_{ср}$, $кг/см^2$	Упругие характеристики, α	Начальные модули упругости E_0, $кг/см^2$	Относительные деформации $\varepsilon \cdot 10^{-4}$ при $\frac{P}{P_p} = 0{,}8$
Призмы из золопенобетона 20×20×60 см	61,2	743	46000	14,3
То же	97,0	395	38400	27,0
„	86,7	400	34600	26,6
Золопенобетонный блок с фактурой	35,0	1635	57200	6,5

Модули упругости E_0, полученные при испытании образцов из безавтоклавного золопенобетона и автоклавного ячеистого бетона, близки по своим значениям.

Золопенобетонный офактуренный блок при прочности 35,0 $кг/см^2$ имеет меньшую предельную деформацию и больший модуль упругости ($\varepsilon = 6{,}5 \times 10^{-4}$; $E_0 = 57200\ кг/см^2$), чем призмы, что объясняется влиянием фактурных слоев с арматурными сетками, которые выполняли роль обоймы и препятствовали развитию поперечных деформаций.

Технология изготовления безавтоклавного золопенобетона

Процесс изготовления крупноразмерных изделий из безавтоклавного ячеистого бетона состоит из следующих основных операций: приготовление ячеистой массы, формование изделий и их распалубка.

Ячеистую массу получают в результате смешивания цементно-зольного раствора с пеной в пенобетономешалке периодического действия, состоящей из пеновзбивателя, растворного барабана и смесителя.

Для получения пены в пеновзбиватель заливают на каждые 15 л воды от 0,8 до 1,0 л пенообразователя ГК. Для приготовления цементно-зольного раствора в растворный барабан засыпают цемент, золу и легкий заполнитель (шлак) в соотношении 1 : 1,5 : 0,5 (по весу) и заливают воду (до 50% от веса сухих веществ). В процессе перемешивания к раствору добавляют ускоритель схватывания и твердения пеномассы — сернокислый глинозем. Раствор с пеной перемешивают в смесительном барабане в течение 2—3 мин.

Объемный вес пеномассы безавтоклавного золопенобетона рассчитывается по формуле

$$\gamma_{сыр} = \frac{\gamma_{сух}}{1{,}1}(1 + x) + 30,$$

где $\gamma_{сыр}$ — объемный вес пеномассы;

$\gamma_{сух}$ — объемный вес сухого золопенобетона;

x — водовяжущее отношение.

Готовую пеномассу заливают в металлические или деревянные формы, на дно которых предварительно укладывают штукатурный слой толщиной 20—30 *мм*, а также арматурный каркас.

При заливке пеномассы в формы должны быть соблюдены следующие условия:

а) пеномассу заливают не позже, чем через 30 мин. после укладки штукатурного слоя;

б) фактурный раствор при толщине слоя 25—30 *мм* наносят на схватившуюся пеномассу через 1,5—2 часа после ее отливки;

в) температура воздуха в заливочном отделении должна быть не ниже $+15°$.

Безавтоклавный золопенобетон имеет объемный вес 1000 $кг/м^3$, коэффициент теплопроводности 0,210 *ккал/м · град · час* в высушенном состоянии, гигроскопичность 4—6% по весу при 100% относительной влажности воздуха; паропроницаемость 0,8—1,0 *г/час мм рт. ст.*, водопоглощение 35—40% по весу.

Для определения атмосфероустойчивости безавтоклавного золопенобетона с объемным весом 1000 *кг/м³* образцы состава 1 : 2 (цемент : зола) были испытаны на морозостойкость. После 85 циклов замораживания и оттаивания предел прочности образцов при сжатии составлял 83 *кг/см²*, а контрольных — 92 *кг/см²*. Трещин и каких-либо изменений во внешнем виде образцов не наблюдалось.

Коэффициент размягчения, т. е. отношение предела прочности при сжатии образца, насыщенного водой, к пределу прочности при сжатии сухого образца составлял 0,86—0,90.

Для изготовления золопенобетона применялись материалы: портландцемент марки 400 Воскресенского завода, легкий заполнитель — зола-унос ТЭЦ, пенообразователь ГК, ускоритель схватывания и твердения — технический серноки́слый глинозем или повторный виброномол цемента.

Расход материалов на 1 *м³* золопенобетона показан в табл. 5.

Таблица 5

Наименование материалов	Расход материалов на 1 *м³* золопенобетона при объемном весе	
	1000 *кг/м³*	1200 *кг/м³*
Цемент	300 *кг*	360 *кг*
Зола-унос	480 *кг*	720 *кг*
Пенообразователь ГК	2,5—3,0 *л*	3 *л*
Сернокислый глинозем	45 *л*	55 *л*
Вода	390 *л*	450 *л*
Крупный заполнитель	120 *кг*	200 *кг*
Водовяжущий фактор $\frac{В}{Ц+З}$	0,42	0,42

Цемент и зола-унос дозировались по весу; вода, пенообразователь и сернокислый глинозем — по объему.

Последовательность изготовления крупных блоков золопенобетона следующая:

сборка форм и смазка их маслом;

нанесение внутреннего фактурного слоя толщиной 2—2,5 *см* из раствора состава 1 : 5 (цемент белый марки 250 : песок кварцевый немолотый) с добавлением 0,3% пенообразователя ГК (от веса цемента);

установка арматурного каркаса;

формование блока;

выдержка блоков в течение 1,5—2,0 часов;

укладка наружного фактурного слоя из раствора состава 1 : 2 (цемент белый марки 250 : известковая крошка) толщиной 2,5—3,0 *см*;

выдержка блоков в течение 48 часов при температуре 10° (для накопления прочности, достаточной для распалубки);

распалубка блоков и установка их краном на площадку для дальнейшего твердения в естественных условиях в течение 7 суток при обязательной ежедневной поливке водой.

ВЫВОДЫ

Крупноразмерные конструктивные элементы из безавтоклавного золопенобетона могут найти широкое применение как в жилищном, так и в промышленном строительстве.

Блоки из неавтоклавного золопенобетона можно изготовлять на приностроечном полигоне на плоском железобетонном поддоне с применением бортовой опалубки.

Применение быстротвердеющего золопенобетона позволяет уже через несколько суток поднять деталь вместе с бортовой опалубкой, распалубить ее, а затем отгрузить на склад или же установить непосредственно на место.

Конструктивный неавтоклавный золопенобетон наиболее целесообразно использовать для изготовления панелей и блоков наружных стен. В зависимости от климатических условий толщина таких изделий при объемном весе 1000 *кг/м³* составляет: для жилых зданий 35—40 *см*, для промышленных зданий 25—30 *см*.

При изготовлении трехслойных стеновых панелей и блоков, состоящих из двух железобетонных плит с быстротвердеющим безавтоклавным золопенобетоном между ними, объемный вес золопенобетона может составлять 400—500 *кг/м³*, а расход цемента — не более 200—250 *кг/м³*. Железобетонные плиты в этом случае связываются арматурой, проходящей сквозь золопенобетон.

Проект – **ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП**

Над оцифровкой данной книги работали:
Ружинский С.И. ryginski@aport.ru
Ружинский Ю.И.
Раенко А.С.

август 2005, г. Харьков, Украина